

**PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR DAYA 60 MVA DI GARDU  
INDUK BANTUL 150 KV DAN ANALISIS MINYAK TRANSFORMATOR  
DENGAN MENGGUNAKAN *DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)***

***“MAINTENANCE POWER OF TRANSFORMER’S 60 MVA IN BANTUL  
SUBSTATION 150 KV AND ANALYSIS OIL TRANSFORMER BY USING  
DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)”***

**Reinaldo Soriano Teles<sup>1</sup>, Ir. Wiwik Handajadi M,Eng<sup>2</sup>, Slamet Hani,ST.,MT<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa, <sup>2</sup>Pembimbing I dan <sup>3</sup>Pembimbing II

Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Yogyakarta

Jalan Kalisahak 28, Komplek Balapan Tromol Pos 45, Yogyakarta 55222

Telp. (0274) 563029 Email : [reinaldosoriano2788@gmail.com](mailto:reinaldosoriano2788@gmail.com)

**ABSTRACT**

*At the substation may occur disturbances that can cause failure of the transformer. It is necessary for the care and maintenance of the power transformers, one with transformer oil testing ie transformer maintenance, testing and testing DGA breakdown voltage transformer insulating oil. The test is performed to determine whether there is an abnormality in the transformer. DGA test a transformer condition analysis is done based on the amount of dissolved gases in transformer oil. In this study the use and maintenance of the power transformer oil analysis using DGA. After testing there are several gases are detected are: nitrogen, carbon monoxide, carbon dioxide, ethylene, ethane and TCG.*

**INTISARI**

Pada gardu induk dapat terjadi gangguan yang dapat menyebabkan kegagalan transformator. Hal ini diperlukan untuk perawatan dan pemeliharaan transformator daya, satu dengan pengujian minyak transformator yaitu transformator pemeliharaan, pengujian dan pengujian DGA transformator tegangan tembus isolasi minyak. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan apakah ada kelainan pada transformator. Uji DGA analisis kondisi transformator dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut dalam minyak transformator. Dalam penelitian ini penggunaan dan pemeliharaan analisis minyak transformator daya menggunakan DGA. Setelah pengujian ada beberapa gas yang terdeteksi adalah: nitrogen, karbon monoksida, karbon dioksida, etilena, etana dan TCG.

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Tenaga Listrik merupakan suatu bentuk energi yang dibutuhkan dalam kegiatan perindustrian, perumahan dan aktifitas kehidupan sehari-hari terutama perkembangan teknologi. Seiring dengan perkembangan teknologi dan semakin banyaknya penggunaan tenaga listrik, maka permintaan energi listrik akan semakin meningkat terutama di kota-kota besar.

Tenaga listrik kini merupakan landasan bagi kehidupan modern dan tersedia dalam jumlah dan mutu yang cukup menjadi syarat bagi masyarakat yang memiliki taraf kehidupan yang lebih baik dan perkembangan industri maju. Pembangunan atau produksi tenaga listrik, dilakukan dalam pusat tenaga listrik dengan menggunakan beberapa generator. Transmisi atau penghantaran adalah memindahkan tenaga listrik dari pusat tenaga listrik ketempat yang dinamakan Gardu Induk. Dari GI inilah, tenaga listrik didistribusikan ke gardu distribusi, kemudian ke pemakai atau konsumen. Oleh karena itu perawatan dan pendeteksian kerusakan transformator perlu dilakukan secara rutin agar transformator bisa bekerja sesuai dengan masa pemakaian maksimumnya.

### 1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang akan dianalisis pada penelitian ini dapat diformulasikan sebagai berikut:

- Menjelaskan bagian-bagian transformator daya
- Menganalisis minyak trafo dengan menggunakan (DGA)?
- Sejauh mana gas-gas yang terdeteksi dalam (DGA) yang terkandung dalam minyak isolasi dapat mempengaruhi kinerja sebuah transformator?
- Pengujian tegangan tembus minyak gunanya untuk mengetahui kemampuan minyak dalam menahan stress tegangan

### 1.2 Batasan Masalah

Untuk mengetahui gangguan apa saja yang terdeteksi hasil uji DGA, maka penulis menetapkan batasan masalah dalam penyelesaian tugas akhir ini

- Menjelaskan mengenai sistem pemeliharaan dan perawatan Trafo Tenaga 60 MVA secara umum.
- Jenis kegagalan atau gangguan lain di GI tidak dibahas dalam laporan ini

### 1.3 Tinjauan Pustaka

Minyak Transformator adalah merupakan bahan isolasi cair (isolator) yang dipergunakan sebagai bahan isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagai bahan isolasi minyak transformator harus memiliki kemampuan diantaranya adalah sebagai berikut:

- Menahan terhadap tegangan tembus (semakin tinggi nilai tegangan tembusnya maka kualitas isolasinya akan semakin baik).
- Sebagai bahan pendingin yang harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih perlu dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk menyalurkan panas dari transformator.
- Sebagai media untuk memadamkan busur api karena pada saat beroperasi transformator dapat menghasilkan senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan adanya dampak gangguan, kenaikan suhu yang berlebih akan memungkinkan terjadinya loncatan bunga api didalam belitan transformator tersebut.
- Melindungi belitan dan body transformator dari terjadinya oksidasi dan korosi. Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak juga berasal dari bahan organik seperti piranol dan silicon.

Muhammad Faisal "Menganalisis jenis kegagalan transformator dengan menggunakan metode *Roger's ratio* berdasarkan hasil uji DGA (*Dissolved Gas Analysis*). Dalam penelitian ini hanya dibahas mengenai transformator tenaga beserta bagian-bagiannya dan Analisa Jenis Kegagalan Transformator berdasarkan hasil uji DGA dengan menggunakan *Roger's Ratio*", 2007)

Samuel Panggabean "Analisa pengaruh suhu terhadap kekuatan dielektrik berbagai isolasi cair transformator. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan untuk mengetahui suhu terhadap kekuatan dielektrik, lama pemanasan yang dibatasi sampai 100°C dan suhu pengujian pada 35°C", 2008.

Yustinus Pranata "Analisis keadaan minyak isolasi transformator daya 150 kV menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dan *Fuzzy Logic*. Bagaimana membangun sistem logika *fuzzy* untuk menentukan keadaan minyak isolasi dengan mempertimbangkan gas-gas yang terlarut dalam minyak isolasi. Dapat menentukan keadaan minyak isolasi secara akurat dengan menggunakan metode DGA dan *logika fuzzy*", 2012.

*Rahmat hardityo*" Analisa deteksi dan hasil indikasi kegagalan minyak transformator. Dalam penelitian ini dilakukan untuk pengujian DGA serta analisis berbagai indikasi kegagalan yang muncul pada transformator daya berdasarkan hasil uji DGA, dalam judul ini hanya dibahas mengenai analisis DGA dengan menggunakan metode PAS (*Photo-Acoustic Spectroscopy*) dan analisis DGA pada minyak mineral saja. Analisis pada minyak sintetik tidak dibahas", 2008.

### 1.6 Istilah Penegasan

Untuk mengetahui batasan dan ruang lingkup judul yang akan dibahas dalam laporan ini agar dapat dipahami serta memberikan gambaran yang

jelas pada pembaca dari masalah yang akan dikaji, istilah – istilah yang perlu ditegaskan adalah:

#### 1.6.1 Minyak Isolasi

Minyak isolasi adalah sifat bahan yang mampu untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan untuk mencegah adanya kebocoran arus/hubung singkat, maupun pelindung mekanis dari kerusakan yang diakibatkan oleh korosif atau stressing. Oleh karena itu pemeliharaan dan pengujian minyak sangat diperlukan, pengujian dilakukan dengan mengambil sampel dari transformator itu sendiri kemudian di uji dengan mesin *dissolved gas analysis* (DGA)

#### 1.6.2 Tegangan tembus

Tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan tegangan. Minyak yang jernih akan menunjukkan nilai tegangan yang sangat tinggi.

#### 1.6.3 Gangguan

Gangguan adalah kejadian yang tidak direncanakan atau kerusakan pada peralatan GI, yang mengakibatkan satu kegagalan atau lebih, baik peralatan itu sendiri, atau dari peralatan lain yang berhubungan dengan peralatan itu.

#### 1.6.4 Sistem proteksi

Sistem proteksi adalah peralatan pengaman yang berfungsi untuk melindungi dan memutuskan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang tidak terganggu untuk membatasi kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 PENGERTIAN UMUM GARDU INDUK

##### 2.1.1 Peranan Gardu Induk dalam Sistem Kelistrikan

Gardu Induk merupakan simpul didalam sistem tenaga listrik, yang terdiri dari susunan dan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja *switching* rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait.

##### 2.1.2 Pengertian Gardu Induk

- Gardu Induk adalah suatu instalasi listrik mulai dari TET (Tegangan Ekstra Tinggi), TT (Tegangan Tinggi) dan TM (Tegangan Menengah) yang terdiri dari bangunan dan peralatan listrik.
- Gardu Induk adalah untuk menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu. Daya listrik dapat berasal dari Pembangkit atau dari gardu induk lain.
- Gardu Induk merupakan sub-sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau

merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi).

- Sebagai sub-sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

##### 2.1.3 Fungsi Gardu Induk

- Mentransformasikan daya listrik:
  - Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV).
  - Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 kV/ 70 KV).
  - Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/ 20 kV, 70 kV/20 kV).
  - Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz).
- Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang - penyulang tegangan menengah yang ada di gardu induk.
- Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

##### 2.1.4 Jenis Gardu Induk

- Jenis Gardu Induk bisa dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:
  - Berdasarkan besaran tegangannya
  - Berdasarkan pemasangan peralatan
  - Berdasarkan fungsinya
  - Berdasarkan isolasi yang digunakan
  - Berdasarkan sistem rel (*busbar*)
- Dilihat dari jenis komponen yang digunakan, secara umum antara GITET dengan GI mempunyai banyak kesamaan. Perbedaan mendasar adalah:
  - Pada GITET transformator daya yang digunakan berupa 3 buah tranformator daya masing – masing 1 fasa (bank tranformer) dan dilengkapi peralatan reaktor yang berfungsi mengkompensasikan daya rekatif jaringan.
  - Sedangkan pada GI (150 kV, 70 kV) menggunakan Transformator daya 3 fasa dan tidak ada peralatan reaktor.
- Berdasarkan besaran tegangannya, terdiri dari:
  - Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275 kV, 500 kV
  - Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) 150 kV dan 70 kV
- Berdasarkan Pemasangan Peralatan
  - Gardu Induk Pasangan Luar:
    - Adalah gardu induk yang sebagian besar komponennya di tempatkan di luar gedung, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi dan sistem kendali serta komponen bantu lainnya, ada di dalam gedung.

- Gardu Induk semacam ini biasa disebut dengan gardu induk konvensional.
  - Sebagian besar gardu induk di Indonesia adalah gardu induk konvensional.
  - Untuk daerah-daerah yang padat pemukiman dan di kota – kota besar di Pulau Jawa, sebagian menggunakan gardu induk pasangan dalam, yang disebut *Gas Insulated Substation* atau *Gas Insulated Switchgear* (GIS).
- b. Gardu Induk Pasangan Dalam:
- Adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (switchgear, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, cubicle, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung. Kecuali transformator daya, pada umumnya dipasang di luar gedung.
  - Gardu Induk semacam ini biasa disebut *Gas Insulated Substation* (GIS).
  - GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.
4. Berdasarkan Fungsinya
- a. Gardu Induk Penaik Tegangan:
- Adalah gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem.
  - Gardu Induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik.
  - Karena *output voltage* yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi, tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.
- b. Gardu Induk Penurunan Tegangan:
- Adalah gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi.
  - Gardu Induk terletak di daerah pusat – pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.
- c. Gardu Induk Pengatur Tegangan:
- Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik.
  - Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (*voltage drop*) transmisi yang cukup besar.
  - Oleh karena diperlukan alat penaik tegangan, seperti bank kapasitor, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

## 2.2 Transformator Daya

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi *Faraday* dan *Hukum Lorentz* dalam

menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial.

### 2.2.1 Fungsi Transformator

Berdasarkan fungsinya, transformator tenaga dapat dibedakan menjadi:

- Transformator pembangkit
- Transformator gardu induk / penyaluran
- Transformator distribusi

Sedangkan transformator tenaga berdasarkan fungsi penyaluran dapat dibedakan menjadi:

- Transformator besar
- Transformator sedang
- Transformator kecil

### 2.2.2 Jenis Transformator

- a. Transformator *Step Up*
- b. Transformator *Step Down*

### 2.2.3 Bagian – Bagian Transformator

Transformator daya memiliki beberapa komponen penting untuk dapat beroperasi, antara lain sebagai berikut:

- a. Inti besi
- b. Current carrying circuit (belitan)
- c. Bushing
- d. Pendingin
- e. Tangki konservator
- f. Dielektrik minyak isolasi transformator
- g. Kertas isolasi transformator
- h. Tap changer
- i. NGR (Neutral Grounding Resistant)

### 2.2.4 Peralatan Proteksi

- a. Relai *Buchholz*
- b. Relai Pengaman Tegangan Lebih Relai Tegangan
- c. Lebih (*Sudden Pressure Relay*)
- d. Relai Differensial
- e. Relai Arus Lebih
- f. Relai Tangki Tanah
- g. Relai Hubung Tanah
- h. Relai Thermis

## 2.3 Karakteristik yang harus diperhatikan pada minyak trafo

Minyak isolasi harus memiliki beberapa karakteristik tertentu agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Karakteristik ini harus terus dipantau dan diperhatikan secara terus – menerus. Karakteristik tersebut antara lain:

1. Kejernihan penampilan (*Appearance*): Warna minyak yang baik adalah warna yang bersih dan jernih, seperti air murni. Selama transformator dioperasikan, minyak isolator akan melarutkan suspensi / endapan (*sludge*). Semakin banyak endapan yang

- terlarut, maka warna minyak akan semakin gelap.
2. Viskositas kinematik (*kinematik Viscosity*): merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinu dan merata tanpa adanya gesekan dan gaya – gaya lain. Sebagai media pendingin, nilai viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, sebagai factor penting dalam aliran konveksi untuk memindahkan panas. Makin rendah viskositas, semakin bagus pula konduktivitas thermalnya sehingga makin bagus kualitas dari minyak trafo tersebut.
  3. Massa jenis (*Density*): merupakan perbandingan massa suatu volume cairan pada temperature yang sama. Massa jenis minyak trafo harus lebih rendah dari pada air.
  4. Titik nyala (*Flash Point*): titik nyala menunjukkan bahwa minyak trafo dapat dipanaskan sampai temperatur tertentu sebelum uap timbul menjadi api yang berbahaya. Makin tinggi titik nyala semakin baik.
  5. Titik tuang (*Pour Point*): merupakan temperatur terendah saat minyak masih akan terus mengalir saat didinginkan pada temperatur dibawah temperatur normal. Minyak isolasi diharapkan memiliki titik tuang yang serendah mungkin.
  6. Angka Kenetralan (*Neutralization Number*): merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam minyak isolator dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia, cacat atau perubahan kimia dalam bahan tambahan (*additive*). Angka kenetralan merupakan petunjuk umum menentukan apakah minyak sudah harus diganti atau harus diolah.
  7. Stabilitas / kemantapan Oksidasi (*Oxydation Stability*): proses oksidasi menyebabkan bertambahnya kecenderungan minyak untuk membentuk asam dan kotoran zat padat yang nantinya akan membentuk endapan (*sludge*). Asam menyebabkan korosi pada logam dalam peralatan transformator, sedangkan kotoran zat padat menyebabkan transfer panas menjadi terganggu. Minyak isolator diharapkan memiliki stabilitas oksidasi yang tinggi dan kemampuan pelarutan yang rendah sehingga meminimalisir presentase terjadinya oksidasi.
  8. Kandungan Air: Adanya air dalam minyak isolator akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolator, serta memacu munculnya *Hot spot* sehingga nantinya akan mempercepat kerusakan isolator kertas (kertas dan kayu). Sebagai tambahan, pemanasan yang berlebihan pada transformator akan menyebabkan isolasi kertas pada belitan akan membusuk dan menurunkan umur isolator. Membusuknya isolasi kertas juga akan jumlah kandungan air.
  9. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*): Tegangan tembus menunjukkan kemampuan untuk menahan *electric stress* (volt). Kandungan air bebas dan partikel – partikel konsuktif dapat menaikkan tingkat *electric stress* dan menurunkan nilai tegangan tembus. Minyak isolator diharapkan memiliki nilai tegangan tembus yang tinggi.
  10. Factor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*): merupakan ukuran dari *dielectric losses* minyak. Tingginya nilai DDF menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali, koloid bermuatan, dan sebagainya. *Dielectric Dissipation Factor* berhubungan langsung dengan tahanan jenis, sehingga tingginya nilai *Dielectric Dissipation Factor* secara langsung menunjukkan rendahnya tahanan jenis minyak.
  11. Tahanan Jenis (*Resistivity*): tahanan jenis yang rendah menunjukkan adanya pengotor yang bersifat konduktif. Suatu cairan dapat digolongkan sebagai isolator cair bila tahanan jenisnya lebih besar dari  $10^9$  W-m.

### 2.3.1 Minyak Sebagai Bahan Isolator Cair Pada Transformator

Isolator merupakan suatu sifat bahan yang mampu untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan untuk mencegah adanya kebocoran arus/hubung singkat, maupun sebagai pelindung mekanis dari kerusakan yang diakibatkan oleh *korosif* atau *stressing*. Minyak isolator yang dipergunakan dalam transformator daya mempunyai beberapa tugas utama, yaitu:

1. Media isolator
2. Media pendingin
3. Media / alat untuk memadamkan busur api
4. Pendingin terhadap korosi dan oksidasi.

Minyak isolator transformator dapat dibedakan menjadi atas dua jenis, yaitu minyak mineral dan minyak sintetik. Pemilihan jenis minyak didasarkan pada keadaan lingkungan dimana transformator digunakan, misal *aksarel* adalah minyak jenis sintetik yang tidak dapat terbakar, sehingga pemakaian aksarel memungkinkan transformator distribusi dapat digunakan pada lokasi dimana bahaya api sangat besar (misalnya pada industri kimia), tetapi dari segi kesehatan minyak ini dinilai sangat membahayakan. Oleh karena itu diberapaa Negara ada larangan menggunakan aksarel.

## 2.4 Dissolved Gas Analysis (DGA)

### 2.4.1 Dissolved Gas Analysis (DGA) Trafo Tenaga

Minyak trafo merupakan sebuah campuran kodari kompleks dari molekul – molekul hidrokarbon, dalam bentuk linear siklis, yang mengandung kelompok molekul CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub> dan CH yang terikat. Pemecahan beberapa ikatan antara unsur C-H dan C-C sebagai hasil dari kegagalan thermal ataupun elektrik akan menghasilkan fragmen-fragmen ion seperti H<sub>3</sub>\*, CH<sub>3</sub>\*, CH<sub>2</sub>\*, CH\* atau C\*, yang nantinya akan berkombinasi dan menghasilkan molekul-molekul gas seperti hydrogen (H-H), metana (CH<sub>3</sub>-H), etana (CH<sub>3</sub>-CH<sub>3</sub>), etilen (CH<sub>2</sub> = CH<sub>2</sub>) ataupun asetilen (CH = CH). Gas – gas ini dikenal dengan istilah *Foult gas*.

Tabel 2.1 Struktur kimia minyak isolator dan gas-gas terlarut pada minyak trafo

|                 |  |                                  |
|-----------------|--|----------------------------------|
| Mineral Oil     | $\left\{ \begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   &   &   &   &   \\ -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   &   &   &   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right.$ | C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub> |
| Hydrogen        | H-H  | H <sub>2</sub>                   |
| Methane         | $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$  | CH <sub>4</sub>                  |
| Ethane          | $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$  | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>    |
| Ethylene        | $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{C} & =\text{C} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$  | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>    |
| Acetylene       | $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{C} & =\text{C} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$  | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>    |
| Carbon Dioxide  | O = C = O  | CO <sub>2</sub>                  |
| Carbon Monoxide | C ≡ O  | CO                               |
| Oxygen          | O = O  | O <sub>2</sub>                   |
| Nitrogen        | N ≡ N  | N <sub>2</sub>                   |

Semakin banyak jumlah ikatan karbon (ikatan tunggal, ganda dan rangkap tiga) maka semakin banyak pula energi yang dibutuhkan untuk menghasilkannya. Hydrogen (H<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) dan etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) terbentuk oleh fenomena kegagalan dengan tingkat energy yang rendah, seperti *partial discharge* atau *corona*. Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) terbentuk oleh pemanasan minyak pada temperatur menengah, dan asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) terbentuk pada temperatur yang sangat tinggi.

DGA adalah proses untuk menghitung kadar / nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidak normalan minyak isolasi. DGA secara ilmiah dapat diartikan sebagai analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator. Pengujian kandungan gas terlarut pada minyak trafo akan memberikan informasi terkait akan kondisi dan kualitas kerja transformator secara keseluruhan. Uji DGA dilakukan pada sampel minyak yang diambil dari transformator, kemudian gas terlarut (*dissolved gas*) tersebut diekstrak. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya, dan dihitung kuantitasnya (dalam satuan *part per million – ppm*).

Pengambilan sampel minyak untuk pengujian DGA mengacu pada IEC standard 567. Pengambilan sampel minyak dengan cara yang benar akan memberikan hasil analisa yang baik pada pengujian DGA, apabila pengambilan sampel minyak dilakukan salah maka hasil pengujian akan tidak akurat.

### 3.1 Metode penelitian

DGA secara umum dapat diartikan sebagai analisis transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo. DGA pada dunia industry dikenal juga sebagai tes darah atau *blood test* pada transformator. Darah manusia adalah suatu senyawa yang mudah untuk melarutkan zat-zat lain yang berada disekitarnya. Melalui pengujian zat-zat terlarut pada darah, maka akan diperoleh informasi – informasi terkait tentang kesehatan manusia. Begitu juga dengan transformator, pengujian zat – zat terlarut (biasanya gas) pada minyak trafo (minyak trafo dianalogikan sebagai darah manusia) akan memberikan informasi-informasi terkait akan kesehatan dan kualitas kerja transformator secara keseluruhan.

Uji sampel minyak dilakukan pada sebuah unit trafo kemudian gas-gas terlarut (*Dissolved gas*) diekstrak. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen – komponen individualnya dan dihitung kuantitasnya (dalam satuan *Part Per Million – PPM*). Keuntungan utama dari uji DGA adalah deteksi dini akan adanya fenomena kegagalan yang ada pada trafo yang diujikan. Rata-rata alat uji DGA memiliki sensitivitas yang tinggi, sehingga ketidakmurnian sampel akan menurunkan tingkat akurasi dari hasil uji DGA.

Trafo sebagai peralatan tegangan tinggi tidak lepas dari kemungkinan mengalami kondisi abnormal, dimana pemicunya dapat berasal dari internal maupun external trafo. Ketidak normalan ini akan menimbulkan dampak terhadap kinerja trafo. Secara umum, dampak / akibat ini dapat berupa *overheat*, *corona* dan *arcing*.

Salah satu metoda untuk mengetahui ada tidaknya ketidak normalan pada trafo adalah dengan mengetahui dampak dari ketidak normalan trafo itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidak normalan pada trafo digunakan metoda DGA (*Dissolved gas analysis*).

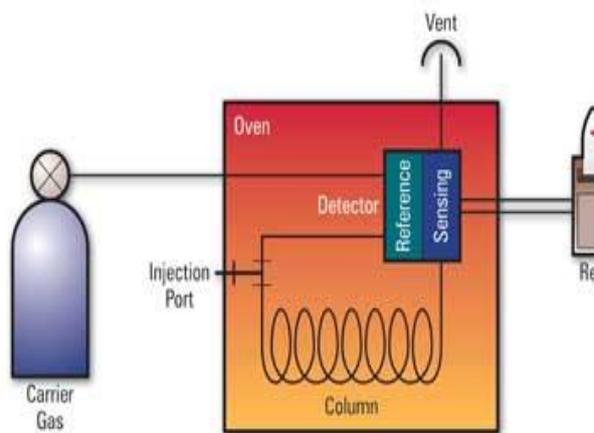
Pada saat terjadi ketidaknormalan pada trafo, minyak isolasi sebagai rantai hidrocarbon akan terurai akibat besarnya energi ketidak normalan dan akan membentuk gas – gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri. Pada dasarnya DGA adalah proses untuk menghitung kadar/nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidak normalan. Dari komposisi kadar/nilai gas-gas itulah dapat diprediksi dampak – dampak ketidak normalan apa yang ada di dalam trafo, apakah *overheat*, *arcing* atau *corona*.

### 3.2 Metode Pengumpulan Data

Berikut adalah teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel uji minyak isolasi yang ada pada transformator.
2. Ekstraksi gas dengan menggunakan peralatan DGA itu sendiri.
3. Interpretasi data, memperoleh hasil data dari uji sampel minyak isolasi yang dilakukan.
4. Pengambilan kesimpulan, setelah mendapatkan hasil data gas dalam minyak transformator maka diambil kesimpulan bagaimana keadaan minyak transformator tersebut.

Metode yang dapat digunakan untuk menguji dan untuk memperoleh konsentrasi gas – gas pada minyak isolasi pada transformator adalah *Gas Chromatograph* seperti pada gambar dibawah ini.



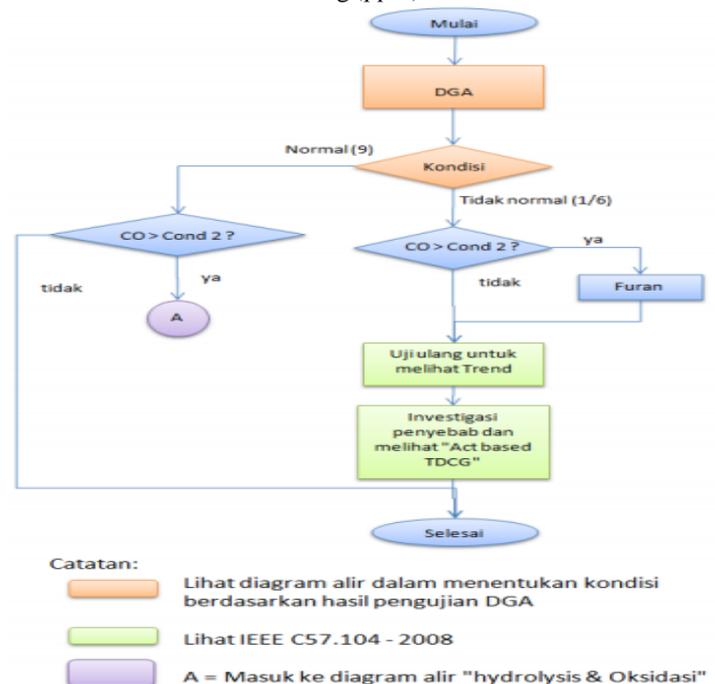
Gambar 3.1 Diagram kerja *Gas Chromatograph*

Gambar di atas merupakan cara kerja DGA dengan menggunakan metode *Gas Chromatograph*, dengan perincian sebagai berikut sebagai berikut:

1. Sampel uji / minyak isolasi dimasukkan ke saluran kolom menggunakan - *microsyringe*.
2. Gas *carier* akan menghantarkan molekul gas *fault* di dalam kolom, gas pembawa yang

biasa digunakan merupakan jenis gas lembam, seperti nitrogen atau argon.

3. Gerakan molekul – molekul gas *fault* memiliki tingkat absorbs yang berbeda-beda sehingga akan mencapai ujung saluran kolom dengan dalam kurun waktu yang berbeda – beda.
4. Kemudian setiap bagian dari uji sampel yang mencapai ujung dari kolom akan dideteksi oleh detektor.
5. Dari detektor akan dihasilkan data keluaran berupa jenis gas yang ada pada minyak isolasi dan konsentrasinya (*ppm*).



Gambar 3.2 Flowchart berdasarkan hasil pengujian DGA

Pada gambar di atas dapat diketahui dibab iv untuk dianalisis dan dihitung:

- apabila hasil uji DGA (DCG selain CO) menunjukkan kondisi normal, perlu dilihat kondisi gas CO. Apabila gas CO minimal berada pada kondisi 3 berdasarkan Tabel 4.13 tindak lanjut terkait tingkat hidrolisa isolasi kertas dan oksidasi minyak isolasi sesuai Gambar 4.54 perlu dilakukan.
- apabila hasil uji DGA (DCG selain CO) menunjukkan kondisi sedang atau buruk, perlu dilakukan tindak lanjut berupa pengujian ulang untuk melihat tren serta investigasi penyebab dan rekomendasi tindak lanjut sesuai “act based TCG. Apabila gas CO minimal berada pada kondisi 3 berdasarkan Tabel 4.13, perlu dilakukan pengujian furan sebelum tindak lanjut berupa pengujian ulang untuk melihat tren maupun investigasi penyebab dan rekomendasi tindak lanjut sesuai “act based TCG.

Metode DGA telah dilakukan oleh PLN untuk menentukan keadaan minyak isolasi dan keadaan transformator, namun dalam pengambilan kesimpulan PLN hanya memperhitungkan / menganalisis dari konsentrasi gas TDCG, dalam hasil tes DGA yang dimiliki PLN (seperti pada gambar 4.50), konsentrasi gas-gas lain memang sudah terdeteksi berapa konsentrasinya namun untuk hasil keadaan trafo hanya memperhitungkan nilai TDCG saja dan seolah olah gas-gas lain yang terdeteksi dalam minyak isolasi tidak mempengaruhi keadaan minyak isolasi transformator. Jenis dan konsentrasi gas yang terlarut dalam minyak isolasi sangat berpengaruh dengan keadaan minyak isolasi dan keadaan transformator itu sendiri oleh karena itu untuk mengambil kesimpulan berdasarkan hasil tes DGA konsentrasi TDCG dan konsentrasi keenam gas tersebut juga harus dianalisis.

### 3.3 Metode Wawancara

Metode wawancara digunakan untuk memperoleh data yang dihasilkan setelah pengujian minyak isolasi dan data tersebut untuk analisis lebih lanjut guna mengetahui gangguan apa saja yang didapat dari hasil uji DGA dan tegangan tembus minyak isolasi tersebut, di GI 150 kV Bantul.

## PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

### 4.1 Pengujian Minyak Transformator

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan stress tegangan. Minyak yang jernih dan kering akan menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi. Air bebas dan partikel solid, apalagi gabungan antara keduanya dapat menurunkan tegangan tembus secara dramatis. Dengan kata lain pengujian ini dapat menjadi indikasi keberadaan kontaminan seperti kadar air dan partikel. Rendahnya nilai tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan salah satu kontaminan tersebut, dan tingginya tegangan tembus belum tentu juga mengindikasikan bebasnya minyak dari semua jenis kontaminan. Pengujian ini mengacu standard IEC 60156.

Tegangan tembus minyak mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya partikel – partikel hasil oksidasi dan kandungan air dalam minyak. Dalam membuat analisa kondisi isolasi, selain hasil pengujian kekuatan dielektrik harus diperhatikan juga kandungan air dan oksigen. Kombinasi antara dua zat ini dengan energi panas akan mengakibatkan kerusakan pada isolasi kertas sebelum nilai kekuatan dielektrik di bawah standar.

#### 4.1.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Lokasi : Gardu Induk Bantul

Merk : Xian

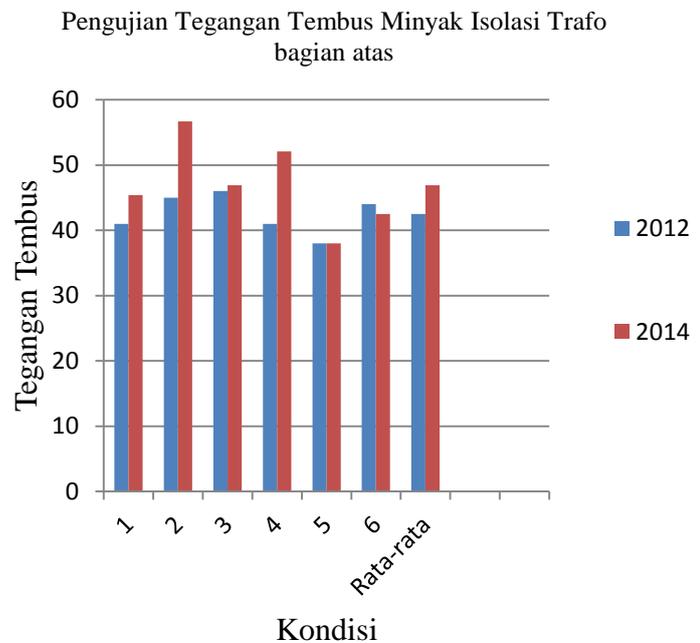
Tegangan/Daya : 150/20 kV  
Tanggal pengujian : 19 juni 2014

**Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Isolasi Trafo**

| No.       | Kategori                | Pengujian                          | Satuan Pengujian                                      | Hasil Pengujian |      |      | Kesimpulan |
|-----------|-------------------------|------------------------------------|---|-----------------|------|------|------------|
| 1.        | (Diukur pada suhu 30°C) | Tegangan yang diijinkan            | kV/2,5 mm   | Tahun           |      |      |            |
| 2.        | Minyak bagian atas      | < 70 kV<br>70 – 170 kV<br>> 170 kV | >= 30 kV/2,5 mm<br>>= 40 kV/2,5 mm<br>>= 50 kV/2,5 mm | Kondisi         | 2012 | 2014 |            |
|           |                         |                                    |   | 1.              | 41   | 45.4 |            |
|           |                         |                                    |   | 2.              | 45   | 56.7 |            |
|           |                         |                                    |   | 3.              | 46   | 46.9 |            |
|           |                         |                                    |   | 4.              | 41   | 52.1 |            |
|           |                         |                                    |   | 5.              | 38   | 38   |            |
|           |                         |                                    |   | 6.              | 44   | 42.4 |            |
| Rata-rata | 42,5                    | 46,9                               |   |                 |      |      |            |
| 3.        | Minyak bagian bawah     | < 70 kV<br>70 – 170 kV<br>> 170 kV | >= 30 kV/2,5 mm<br>>= 40 kV/2,5 mm<br>>= 50 kV/2,5 mm | 1.              | 37   | 54.3 |            |
|           |                         |                                    |   | 2.              | 42   | 62.6 |            |
|           |                         |                                    |   | 3.              | 44   | 44.4 |            |
|           |                         |                                    |   | 4.              | 40   | 83.3 |            |
|           |                         |                                    |   | 5.              | 42   | 37.7 |            |
|           |                         |                                    |   | 6.              | 42   | 40.5 |            |
|           |                         |                                    |   | Rata-rata       | 41   | 53.9 |            |
| 4.        | Minyak OLTC             | < 70 kV<br>70 – 170 kV<br>> 170 kV | >= 30 kV/2,5 mm<br>>= 40 kV/2,5 mm<br>>= 50 kV/2,5 mm | 1.              | 35   | 22.7 |            |
|           |                         |                                    |   | 2.              | 40   | 22.3 |            |
|           |                         |                                    |   | 3.              | 40   | 61   |            |
|           |                         |                                    |   | 4.              | 37   | 65.2 |            |
|           |                         |                                    |   | 5.              | 43   | 57.2 |            |
|           |                         |                                    |   | 6.              | 35   | 73.5 |            |
|           |                         |                                    |   | Rata-rata       | 38,3 | 50,3 |            |

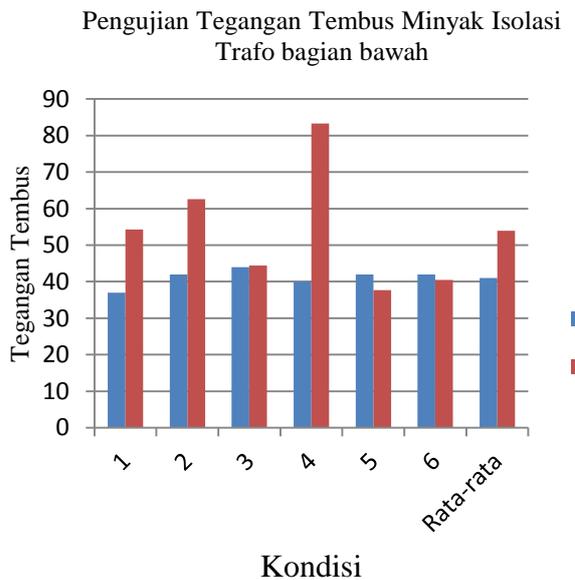
Hasil pengujian/pengukuran minyak isolasi trafo akan di buat perbandingan grafik hasil uji tahun 2012 dan hasil huji tahun 2014 untuk mengetahui tegangan tembus minyak isolasinya.

1. Hasil grafik pengujian minyak trafo bagian atas



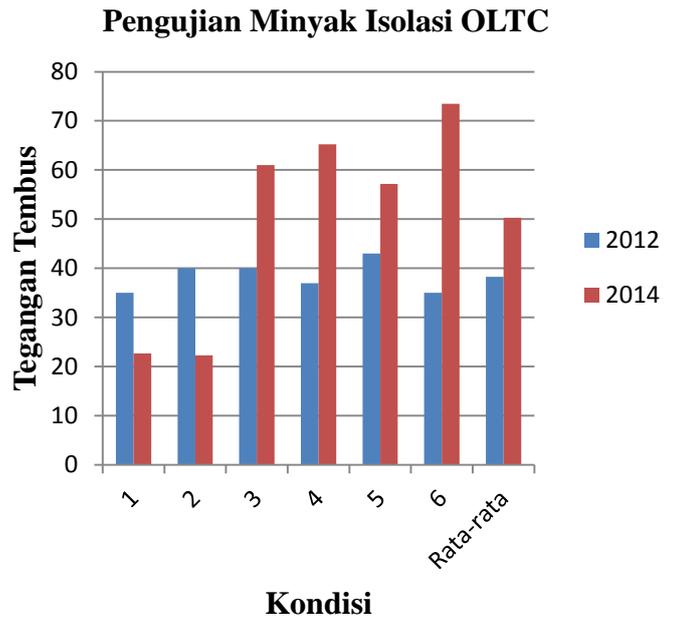
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Minyak Isolasi Trafo Bagian Atas

2. Hasil grafik pengujian minyak trafo bagian bawah



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Minyak Isolasi Trafo 1 Bagian Bawah

3. Hasil grafik pengujian minyak trafo OLTC

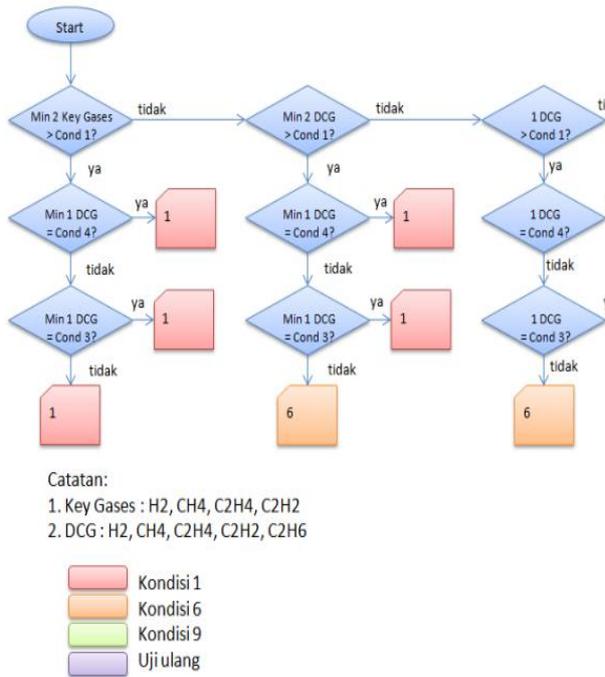


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Minyak Isolasi OLTC

Keterangan: Dari hasil grafik diatas menunjukkan bahwa ada kenaikan atau perubahan tegangan tembus antara tahun 2012 dan 2014

#### 4.2 Kondisi trafo berdasarkan hasil pengujian DGA

Gambar 4.48 memperlihatkan proses penentuan kondisi sub sistem *electromagnetic circuit* dan *current carrying unit* (EMC & CCU) trafo berdasarkan data hasil pengujian DGA. Proses ini bertujuan untuk mengkategorikan apakah trafo (berdasarkan kondisi sub sistem EMC dan CCU) dalam kondisi *baik* (normal), *cukup* (perlu perhatian), *buruk* (kritis) atau perlu dilakukan pengujian ulang karena hasil pengujian DGA tidak valid. Pada diagram alir ini, kandungan CO belum diikutsertakan dalam proses perhitungan, namun akan diikutsertakan dalam perhitungan konsentrasi gas terlarut (Tabel 4.6)



Gambar 4.6 Penentuan Kondisi Trafo Berdasarkan Hasil Pengujian DGA.

Tabel 4.3 Kondisi Standard Minyak Isolasi Trafo dengan Batasan Pengujian

| Properties           | Satuan    | Kategori | Kondisi minyak |             |       |
|----------------------|-----------|----------|----------------|-------------|-------|
|                      |           |          | Baik           | Wajar/cukup | Buruk |
| Warna                |           | A,B,C    | <3,5           |             | >3,5  |
| Tes Tembus (BVD)     | KV/2,5 mm | A        | >60            | 50-60       | <50   |
|                      |           | B        | >50            | 40-50       | <40   |
|                      |           | C        | >40            | 30-40       | <30   |
| Kadar Air            | ppm       | A        | <5             | 5-10        | >10   |
|                      |           | B        | <5             | 5-15        | >15   |
|                      |           | C        | <10            | 10-25       | >25   |
| Kadar Asam           | mgKOH/g   | A        | <0,1           | 0,1-0,15    | >0,15 |
|                      |           | B        | <0,1           | 0,1-0,2     | >0,2  |
|                      |           | C        | <0,15          | 0,15-0,3    | >0,3  |
| Tes antar muka (IFT) | mN/m      | A,B,C    | >28            | 22-28       | <22   |
| Sedimen              | Wt%       | A,B,C    | <0,1           |             | ≥0,1  |
| Titik nyala          | °C        |          |                |             |       |
| Viskositas           |           |          |                |             |       |

A = 500 kV B = 150 kV C = 70 kV

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Minyak Trafo

| No. | Properties                  | Hasil Pengujian |            |
|-----|-----------------------------|-----------------|------------|
|     |                             | Nilai           | Satuan     |
| 1.  | Warna                       | 1,8             |            |
| 2.  | Tegangan tembus (BDV)       | 84,6            | kV/2,5 mm  |
| 3.  | Kadar air                   | 56°C            | 10,61 ppm  |
|     |                             | 20°C            | 2,5301 ppm |
| 4.  | Kadar Asam                  | 0,043           | mgKOH/g    |
| 5.  | Tegangan antar muka (IFT)   | 32,1            | mN/m       |
| 6.  | - Berat sedimen             | 0,0324 g        |            |
|     | Sedimen :<br>- Berat sample | 82,717 g        | 0,0392 Wt% |

Pada gambar 4.50 di atas dapat diketahui bahwa trafo berada pada kondisi baik apabila tidak ada key gas maupun DCG (*Dissolved Combustible Gas*) yang melebihi level kondisi 1 (berdasarkan standard IEEE C57-104 2014). Trafo akan dikatakan berada pada kondisi sedang apabila ada 1

atau lebih DCG berada pada kondisi 2. Trafo berada pada kondisi buruk apabila salah satu dari kondisi ini tercapai:

- Minimum 2 key gases berada pada kondisi lebih dari 1, atau
- Minimum 2 DCG berada pada kondisi lebih dari 1 dan minimum satu gas berada pada kondisi 3 atau 4
- Pengujian DGA perlu diulang apabila hasil pengujian menunjukkan hanya 1 gas DCG yang berada pada kondisi 3 atau 4.

#### 4.2.1 Hasil Pengujian Kadar Air

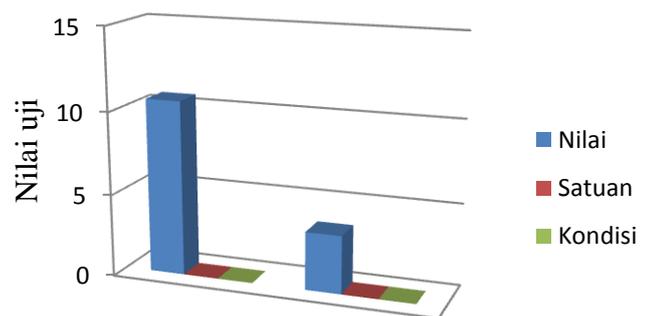
Fungsi minyak transformator sebagai media isolasi di dalam transformator dapat menurun seiring banyaknya air yang mengotori minyak. Oleh karena itu dilakukan pengujian kadar air untuk mengetahui seberapa besar kadar air yang terlarut / terkandung didalam minyak. Metode yang dipakai adalah metoda *Karl Fischer*.

Tabel 4.7 menunjukkan acuan penentuan tingkat kondisi minyak trafo berdasarkan hasil pengujian kadar air. Berdasarkan tabel ini, trafo dapat dikategorikan menjadi kondisi *bagus*, *cukup* atau *buruk* berdasarkan kondisi sub sistem dielektriknya.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kadar Air

| Nama           | Nilai  | Satuan | Kondisi |
|----------------|--------|--------|---------|
| Suhu Kadar air | 10,61  | ppm    | BAIK    |
| 56°C           | 2,5301 | ppm    |         |
| 20°C           |        |        |         |

Grafik hasil uji Kadar Air



Hasil Pengujian

Keterangan: Hasil pengujian kadar air menunjukkan kondisi cukup berarti minyak trafo masih bisa dipakai.

Gambar 4.7 Grafik hasil uji Kadar Air

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Kadar Asam dan IFT

Minyak yang rusak akibat oksidasi akan menghasilkan senyawa asam yang akan menurunkan kualitas kertas isolasi pada transformator. Asam ini juga dapat menjadi penyebab proses korosi pada tembaga dan bagian transformator yang terbuat dari bahan metal. Untuk mengetahui seberapa besar asam yang terkandung di dalam minyak, dilakukan pengujian kadar asam pada minyak isolasi. Besarnya kadar asam pada minyak juga dapat dijadikan sebagai dasar apakah minyak isolasi transformator tersebut harus segera dilakukan reklamasi atau diganti.

Hasil pengujian terhadap kondisi oksidasi pada minyak isolasi melalui kadar asam minyak divalidasi dengan bantuan hasil pengujian interfacial tension (IFT). Jika hasil pengujian kadar asam dan IFT masuk ke dalam salah satu kategori validitas hasil pengujian di Tabel 4.7, maka hasil pengujian tersebut dianggap valid.

Tabel 4.6 Klasifikasi validitas data antara pengujian kadar asam dan IFT [IEC 60422]

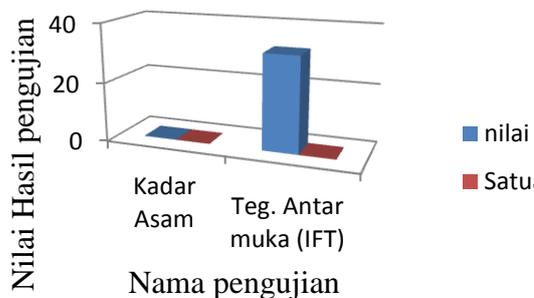
| Kategori | Kadar asam (mg KOH/g) | IFT (mN/m) |
|----------|-----------------------|------------|
| A        | < 0,05                | 20-43      |
| B        | 0,051 – 0,1           | 17-34      |
| C        | > 0,1                 | 15-27      |

Setelah data pengujian dinyatakan valid, maka kondisi minyak trafo dapat ditentukan berdasarkan pengujian kadar asam (mg KOH/g) dengan acuan di Tabel 4.10.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kadar Asam Dan Tegangan Antar Muka (IFT)

| Properties                | Nilai | Satuan  | Kondisi |
|---------------------------|-------|---------|---------|
| Kadar Asam                | 0,043 | mgKOH/g | BAIK    |
| Tegangan antar muka (IFT) | 32,1  | mN/m    | BAIK    |

Gambar grafik hasil uji kadar asam dan (IFT)



Keterangan: Dari hasil pengujian kadar asam IFT (mN/m) menunjukkan hasil yang baik

dan tidak menemukan adanya kontaminasi atau pengaruh lain.

Gambar 4.8 Hasil uji Kadar Asam dan Tegangan antar muka 9IFT)

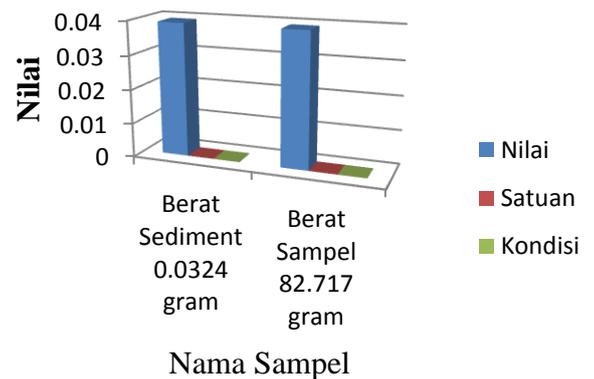
#### 4.2.4 Pengujian Sediment

Banyak material yang dapat mengkontaminasi minyak transformator, seperti karbon dan endapan lumpur (*sludge*). Pengujian sediment ini bertujuan mengukur seberapa banyak (%) zat pengotor yang terdapat pada minyak isolasi transformator. Pengujian ini pada dasarnya membandingkan berat endapan yang tersaring dengan berat minyak yang diuji. Pengujian ini mengacu kepada standard IEC 60422–Annex C.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Sediment

| Properties                | Satuan | Hasil pengujian | Kondisi |
|---------------------------|--------|-----------------|---------|
| Sediment :                |        |                 |         |
| - Berat sediment 0,0324 g | Wt%    | 0,0392          | BAIK    |
| - Berat sample 82,717 g   |        |                 |         |

Gambar grafik Sediment



Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian

#### 4.2.5 Pengujian Titik Nyala

Pengujian titik nyala dilakukan dengan menggunakan sebuah perangkat yang berfungsi memanaskan minyak secara manual (*heater* atau kompor). Dimana diatas cawan pemanas tersebut di letakan sumber api yang berasal dari gas. Sumber api ini berfungsi sebagai pemancing saat mulai terbakarnya minyak. Seiring dengan lamanya proses pemanasan, suhu minyak pun akan mengalami peningkatan. Pada suhu tertentu minyak akan terbakar dengan sumber api.

Pada gambar di atas dapat diketahui bahwa:

- apabila hasil uji DGA (DCG selain CO) menunjukkan kondisi normal, perlu dilihat kondisi gas CO. Apabila gas CO minimal berada pada kondisi 3 berdasarkan Tabel 4.13 tindak lanjut terkait tingkat hidrolisa isolasi kertas dan oksidasi minyak isolasi sesuai Gambar 4.54 perlu dilakukan.
- apabila hasil uji DGA (DCG selain CO) menunjukkan kondisi sedang atau buruk, perlu

dilakukan tindak lanjut berupa pengujian ulang untuk melihat tren serta investigasi penyebab dan rekomendasi tindak lanjut sesuai “act based TCG. Apabila gas CO minimal berada pada kondisi 3 berdasarkan Tabel 4.13, perlu dilakukan pengujian furan sebelum tindak lanjut berupa pengujian ulang untuk melihat tren maupun investigasi penyebab dan rekomendasi tindak lanjut sesuai “act based TCG.

- Alur tindak lanjut terkait tingkat kelembaban diperlihatkan pada Gambar 4.56.

#### 4.2.6 Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan tegangan. Minyak yang jernih akan menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi. Dapat dikatakan bahwa pengujian ini dapat menjadi indikasi keberadaan kontaminan seperti kadar air. Rendahnya nilai tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan salah satu kontaminan tersebut, dan tingginya tegangan tembus belum tentu juga mengindikasikan bebasnya minyak dari semua jenis kontaminan. Pengujian ini mengacu standard IEC 60156.

Kondisi minyak trafo dapat pula ditentukan berdasarkan nilai tegangan tembusnya (dalam satuan kV/2,5 mm) dengan batasan sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 4.5.

#### 4.2.7 Hasil Pengujian Warna Minyak

Warna minyak isolasi transformator akan berubah seiring penuaan yang terjadi pada minyak dan dipengaruhi oleh material material pengotor seperti karbon. Pengujian warna minyak pada dasarnya membandingkan warna minyak terpakai dengan minyak yang baru. Pengujian ini mengacu kepada standard ISO 2049.

Tabel 4.9 Kondisi Standard Level Minyak Isolasi Trafo 1 GI Bantul (*Dissolved Gas Analysis*) {IEEE C57 104 2014}.

| Status | Batas konsentrasi key gas terlarut ( <i>Dissolved gas analysis</i> ) { $\mu\text{L/L}$ (ppm)} |                           |   |   |  |                       |                                    |
|--------|---|---------------------------|---|---|--|-----------------------|------------------------------------|
|        | Hydrogen (H <sub>2</sub> )  | Metana (CH <sub>4</sub> ) | Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) | Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) | Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ) | Karbon Monoksida (CO) | Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) |
| 1.     | 100   | 120                       | 35  | 50                                      | 65                                     | 350                   | 2500                               |
| 2.     | 700   | 400                       | 50  | 100                                     | 100                                    | 570                   | 4000                               |
| 3.     | 1800  | 1000                      | 80  | 200                                     | 150                                    | 1400                  | 10000                              |
| 4.     | >1800   | >1000                     | >80                                       | >200                                    | >150                                   | >1400                 | >10000                             |

Referensi: Gas Extraction From Oil (ANSI / IEEE Standard C57.104-1991 dan ASTM Test Method D-3612

Keterangan:

- Jika pernah dilakukan analisa DGA sebelumnya, maka hasil analisa tersebut harus direview juga untuk melihat apakah hasil analisa stabil, tidak stabil atau meragukan. Pengujian ulang dapat direkomendasikan jika dipandang perlu.

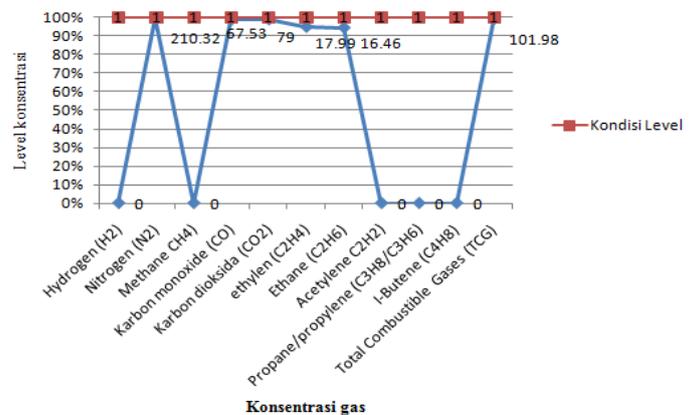
- Hasil analisa gas yang diperoleh dari beberapa laboratorium dapat berbeda
- Nilai TDCG tidak termasuk CO<sub>2</sub> yang bukan merupakan jenis gas *combustible*

#### 4.2.8 Konsentrasi gas yang terdeteksi dari hasil pengujian DGA

Tabel data hasil pengujian minyak isolasi yang terdeteksi di GI Bantul Trafo 1 dengan uji DGA.

Tabel 4.10 Data Konsentrasi Gas yang Terdeteksi Trafo 1 Melalui Uji DGA

| No. | Gas   | Konsentrasi (ppm) v/v | kondisi |
|-----|---|-----------------------|---------|
| 1.  | Hydrogen (H <sub>2</sub> )  | -                     | 1       |
| 2.  | Nitrogen (N <sub>2</sub> )  | 210,319.47            |         |
| 3.  | Methane (CH <sub>4</sub> )  | -                     | 1       |
| 4.  | Karbon monoksida (CO)   | 67,53                 | 1       |
| 5.  | Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )  | 787,04                | 1       |
| 6.  | Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )   | 17,99                 | 1       |
| 7.  | Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )   | 16,46                 | 1       |
| 8.  | Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )  | -                     | 1       |
| 9.  | Propane/propylene (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> /C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) | -                     | 1       |
| 10. | I-Butene (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> )   | -                     | 1       |
| 11. | Total Combustible Gases (TCG)   | 101,98                | 1       |



Gambar 4.10 Grafik Konsentrasi Gas yang Terdeteksi Trafo 1 Melalui Uji DGA

Dari hasil pengujian ini transformator 1 dalam keadaan operasional normal tetapi perlu dilakukan pengujian secara rutin karena level TCG mengindikasikan trafo beroperasi normal. Untuk *combustible gas* yang secara individu melebihi batas normal sehingga harus tetap dilakukan investigasi.

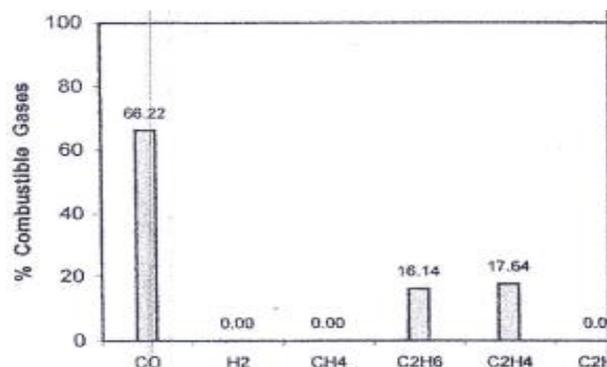
#### 4.3 Hasil Pengujian Key Gas

Key gas didefinisikan oleh IEEE standard C57-104.1991 sebagai “gas – gas yang terbentuk pada transformator pendingin minyak yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan jenis kegagalan yang terjadi, berdasarkan jenis gas yang khas atau lebih dominan yang terbentuk pada

berbagai temperatur”. diperlihatkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.11 Perbandingan (Persen) Key Gas

|  | Ppm (v/v) | persent |
|--|-----------|---------|
| Carbon monoxide (CO)                       | 67.53     | 66.2    |
| Hydrogen (H <sub>2</sub> )                 | 0         | 0       |
| Methane (CH <sub>4</sub> )                 | 16.46     | 16.1    |
| Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )    | 17.99     | 17.6    |
| Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )  | 0         | 0       |
| Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) |           |         |



Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian Analisis Key Gas

### 5.1 Kesimpulan

Dengan dilakukan pengujian DGA terhadap minyak isolasi dan pengujian tegangan tembus untuk mengetahui kondisi minyak isolasi didalam trafo, dengan hasil pengujian analisis dan perhitungan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kekuatan dielektrik minyak isolasi *combustible gases* ada yang mengalami kenaikan pemanasan yaitu karbon monoksida (CO) (66,22%) tapi itu di mempengaruhi kondisi operasional trafo.
2. Analisis data uji DGA tidak mempengaruhi proses pembersihan minyak isolasi
3. Tindak lanjut yang dilakukan pengujian DGA untuk mengurangi atau mengetahui jenis kegagalan yang terjadi di GI Bantul dengan melakukan pengujian yang lebih sering.
4. Tingginya konsentrasi gas etilen, karbon monoksida, dan karbon dioksida disebabkan adanya proses perangkaian, penvakuman transformator serta pengisian ulang minyak sebelumnya yang tidak sesuai dengan prosedur. Pelanggaran prosedur disebabkan adanya partikel pengotor yang terlarut dalam minyak isolasi, sehingga data yang diperoleh menunjukkan bahwa trafo dalam kondisi

sedikit melebihi level normal. Hal ini seharusnya tidak terjadi pada trafo dan minyak isolasi yang baru diganti belum lama ini.

5. Untuk pengujian tembus minyak isolasi trafo bagian atas, bagian bawah dan OLTC, dari setiap bagian dilakukan enam kali pengujian dan tidak menemukan adanya kontaminasi atau kandungan lain dalam minyak isolasi semuanya masih dalam level normal IEEE standard PLN.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan perawatan dan pengujian transformator secara rutin untuk menjaga kualitas operasional dari transformator dan minyak isolasi yang diuji. Juga semakin pemeliharaan, pengujian dan perawatannya akan memperpanjang umur trafo dan komponen – komponen lain di GI serta mengurangi gangguan dalam transformator serta bagian luar transformator.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balint Nemeth et al,” *Condition Monitoring of Power Transformers using DGA and Fuzzy Logic*” IEEE Electrical Insulation Conference, Montreal, Canada, 31 May-3 June 2009.
- Dhlimini, Sizwe Magiya. “*Transformator Diagnosis Using Artificial Intelilligent and Dissolved Gas Analysis*”. University of the Witwatersrand, 2007.
- K.M.Gradnik, “*Physical-Chemical Oil Tests, Monitoring and Diagnostic of Oilfilled*”.
- Muhammad Faisal, ‘Menganalisis jenis kegagalan transformator dengan menggunakan metode Roger’s ratio berdasarakan hasil uji DGA (*Dissolved Gas Analysis*”, 2007.
- Samuel Panggabean, “Analisa pengaruh suhu terhadap kekuatan dilektrik berbagai isolasi cair transformator”, 2008.
- Yustinus Pranata, “Analisis keadaan minyak isolasi transformator daya 150 kV menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis (DGA)* dan Fuzzy Logic”, 2012.
- Rahmat Hardityo, “Analisa deteksi dan hasil indikasi kegagalan minyak transformator”, 2008.
- IEC 60599, “*Mineral Oil-Impregnated Electrical Equipment in Service*”. Edition 2.1. 2007.
- IEEE Power & Energy Society, “*IEEE Guide For the Interpretation Of Gases*”, 2009.

- *Generated in Oli-Immersed Transformer*".  
*Revision of IEEE Std C57.104-1991*. New York.
- *Transformers*" *Proceedings of 14th International Conference on Dielectric Liquids, Austria, July 2002*.
- *Karl Fischer*. Teori tentang banyaknya air yang mengotori minyak pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa kadar air yang terlarut dalam minyak isolasi.

Arismunandar, Artono, "*Teknik Tegangan Tinggi*", 1975